

파이로공정 회수우라늄의 방사성 특성 분석

박창제, 강희영, 이주찬, 방경식, 최우석, 서기석
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
cjpark@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로공정에서 회수되는 우라늄은 천연우라늄에 비해 충분히 농축도가 높아 기존 중수로 원자로에 재활용이 가능하다. 이러한 회수우라늄에 대한 방사성 특성을 ORIGEN-ARP 코드를 이용하여 분석하였다. 또한 MSFIELD 코드를 통해 간단한 1차원 모델에 대해 감마선 등가선량 계산도 수행하였다.

2. 계산방법 및 결과 고찰

본 연구에서 파이로공정 회수우라늄의 기준핵연료는 우리나라에서 이용된 사용후핵연료를 대상을 조사하여 산술 평균 개념을 도입하여 산출하였다. 분석한 결과 이산화우라늄 핵연료의 농축도는 대략 3 wt%로 17X17 형의 핵연료집합체로 선정하였으며 30,000 MWD/tU 연소후 10년 냉각된 상태로 배치당 기준양을 20 kg으로 정하였다. 파이로공정에서 회수 우라늄의 순도는 목표치가 99.99%이다. 이를 바탕으로 불순물이 TRU만 존재하는 경우와 TRU와 FP가 같이 존재하는 경우를 비교하였다. 또한 결과를 초기 우라늄의 방사성 특성과 회수된 우라늄만의 방사성 특성도 같이 비교하였다. 따라서 다음 4가지 경우에 대해 방사능과 감마 스펙트럼 및 중성자 스펙트럼 등을 비교 평가하였다.

- Case 1) 초기 우라늄 3wt% 10년 냉각
- Case 2) 회수된 우라늄 100%
- Case 3) 회수된 우라늄 99.99% + TRU 0.01%
- Case 4) 회수된 우라늄 99.99% + TRU & FP 0.01%

표 1은 각 경우의 총 방사능과 총 감마 스펙트럼 및 중성자 스펙트럼을 보여주고 있다. 초기 우라늄의 경우 방사능을 가지고 있지 않지만 자연 붕괴되면서 자핵종이 가지는 방사능으로 인해 20kg 기준으로 5.56E-02 Ci 와 3.61E+08 photons/s, 2.83E+02 neutrons/s 가 방출되는 것으로 산출되었다. 한편 회수우라늄의 경우 U-237이 발생하여 방사능을 높이는 효과가 있지만 핵분열로 인해 농축도가 줄어들어 상대적으로 초기 우라늄을 자연 붕괴한 경우와 비교하여 약간 낮은 방사능 특성을 보였다. 회수 우라늄의 경우 20kg 기준으로 4.64E-02 Ci 와 2.78E+08 photons/s, 2.72E+02 neutrons/s 를 보였다. 한편 TRU가 0.01% 함유된 경우 (Case 3)는 TRU의 영향으로 총 방사능이 1.71E+01 Ci로 증가하였고 감마와 중성자 스펙트럼도 마찬가지로 9.20E+09 photons/s와 3.47E+04 neutrons/s로 Case 2와 비교하면 각각 32배와 127배 정도 증가하였다. 특히 중성자 스펙트럼의 경우 TRU 핵종에서 중성자 방출핵종이 많아서 상당량 증가하는 것을 알 수 있다. TRU와 FP가 함유된 경우 (Case 4)는 우선 Head-end 공정에서 I, Xe, Tc, Cs 등이 제거되었다고 가정을 하였다. 이 경우는 상대적으로 강한 중성자 방출원 TRU의 함량이 줄어들고 상대적으로 감마 방출원인 FP가 증가하여 전체적인 방사능은 1.31E+01 Ci로 TRU만 함유한 Case 3보다 약 23% 감소하는 것으로 나타났다. 감마 및 중성자 스펙트럼은 6.59E+10 photons/s 및 1.80E+04 neutrons/s 로 우라늄만 존재하는 경우인 Case 2와 비교하면 각각 236배 및 65 배 증가하는 것으로 나타났다. 그림 1은 회수우라늄의 여러 경우에 대해 에너지에 따른 중성자 및 감마 스펙트럼 변화를 보여주고 있다. 그림 1에서 보듯이 중성자 스펙트럼의 경우 우라늄만 있는 경우는 차이는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 TRU가 불순물로 있는 경우는 Case 3은 0.01%, Case 4는 0.005% 존재하기 때문에 Case 3가 높게 나타났다. 감마 스펙트럼의 경우는 Case 4가 Case 3보다 높게 나타났는데 이는 감마선 방출 핵종이 상대적으로 많은 FP를 0.005% 함유하기 때문이다.

본 연구에서는 차폐성능도 함께 비교하기 위해 MSFIELD 코드를 이용하여 공기중에서 회수우라늄의 감마선에 대한 등가선량을 계산하여 그림 2에 도시화 하였다. 그림 1의 감마 스펙트럼에서 확인하였듯이 Case 4의 경우가 상대적으로 높은 등가선량을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 선원에서 10 cm 공기상태에서 떨어져 있는 경우 Case 1, Case 2, Case 3 그리고 Case 4의 경우 각각 1.61E-01 mSv/h,

1.55E-01 mSv/h, 6.34E+00 mSv/h 및 4.42E+01 mSv/h로 나타났다. 불순물을 함유한 경우 회수우라늄에서 차폐체가 필요하며 적당한 차폐가 이루어 진다면 원격 작업요건에서 핵연료집합체 제조등이 용이할 것으로 판단된다. 본 연구 결과를 바탕으로 추후 보다 상세한 차폐 설계 연구가 진행될 예정이다.

Table 1 Radioactivity Characteristics of Recycled Uranium from the Pyroprocess

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Total activity (Ci)	5.56E-02	4.64E-02	1.71E+01	1.31E+01
Gamma intensity (photons/s)	3.61E+08	2.78E+08	9.20E+09	6.59E+10
Neutron intensity (neutrons/s)	2.83E+02	2.72E+02	3.47E+04	1.80E+04

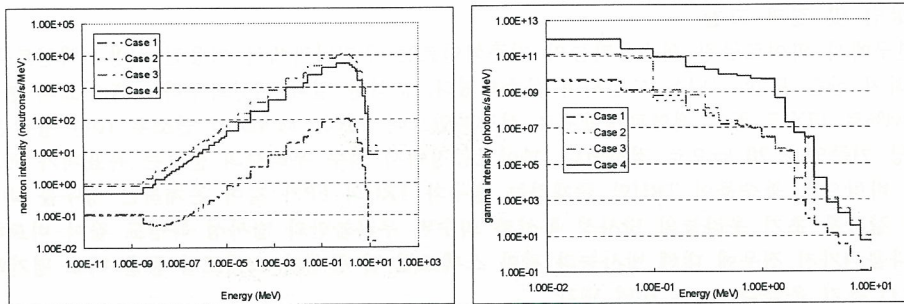


Fig. 1. Neutron and gamma spectrum variations for the various cases

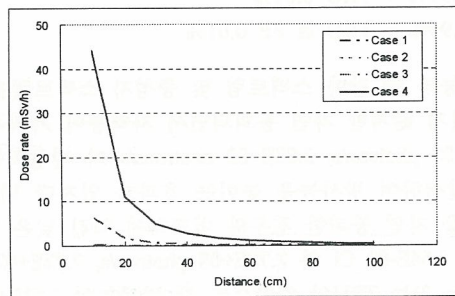


Fig. 2. Equivalent dose rates in the air environment

3. 결론

파이로 공정의 회수 우라늄에 대한 방사능 특성 분석을 수행하여 총 방사능, 감마 및 중성자 스펙트럼에 대한 결과를 TRU 및 FP 를 불순물로 함유한 경우에 대해 비교 평가하였다. 또한 이러한 자료를 바탕으로 간단한 1차원 모델에 대해 MSFIELD 코드를 이용하여 차폐계산을 수행하여 차폐 해석의 기초 자료를 생산하였다.

참고문헌

1. C.J. Park, K.H. Kang, H.J. Ryu, G.I. Park, K.C. Song, "Feasibility Study on the Reuse of Recovered Uranium from a Pyroprocess into CANDU Reactors," American Nuclear Society Annual Meeting, 2008.6.8-12, U.S.A.(2008)
2. I.G. Gauld, S.M. Bowman, J.E. Horwedel, and L.C. Leal, ORIGEN-ARP: Automatic Rapid Processing for Spent Fuel Depletion, Decay, and Source Term Analysis, ORNL/NUREG/CSD-2/V1/R7, 2004.
3. MicroShield - user's manual, Grove Software, 2007.